

ПОДГОТОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОВ

© 2016 С.А. Бузмаков, П.Ю. Санников, Д.Н. Андреев

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Статья поступила в редакцию 09.05.2016

Изучение лесов – одна из актуальных сфер применения аэрофотосъемки, выполненной при помощи беспилотных летательных аппаратов. В статье представлен краткий литературный обзор мирового опыта использования беспилотной авиации для изучения лесов. Дана общая характеристика технических особенностей беспилотного летательного аппарата, используемого в ПГНИУ. Отражены основные этапы обработки материалов съемки. Кратко изложены результаты обработки аэрофотосъемки заказника «Предуралье».

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, фотограмметрия, ортофотоплан, сухостой, устойчивое лесопользование

За последние 10-15 лет в России и в ряде зарубежных стран активное применение получили продукты аэрофотосъемки, получаемые при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Значительная часть современных научных публикаций, основанных на данных БПЛА, посвящена исследованиям лесов. Изучение литературы [1-19,21] позволило выделить следующие основные направления.

1. Выявление отдельных показателей леса и комплексные лесоустроительные работы. В ряде работ при помощи полученных цифровых изображений происходит выявление либо корректировка контуров лесных кварталов или выделов [3]. Породный состав, возраст насаждений и некоторые другие характеристики также могут уточняться по материалам аэрофотосъемки [10]. Съемка местности с беспилотного самолета также применяется для планирования природоохранных мероприятий учета объектов лесной инфраструктуры [6, 7, 15].

2. Выявление заболеваний леса. В рамках лесоустройства существует отдельная специфическая задача – оценка лесопатологического состояния насаждений [9, 12]. Наличие конкретных вредителей и болезней леса невозможно фиксировать непосредственно на аэрофотоснимках. Однако их последствия (повреждения лесного полога) определяются достаточно хорошо [21]. В таких случаях основной дешифрирования являются характерные для ослабленных, поврежденных насаждений признаки: размер и форма кроны, цвет хвои или листьев, наличие отдельных сухих ветвей, структура лесного полога, плотность тени, суховершинность, наличие валежника [18-19].

3. Предупреждение пожаров. В СССР и России работа по обнаружению лесных пожаров долгое время осуществлялась, главным образом, силами «лесной» авиации, а также с помощью пеших обходов лесов работниками лесничеств. Наземное обнаружение возгораний чрезвычайно сильно ограничено по площади (на одного

лесника нередко приходится площадь в десятки тысяч гектар). Главный недостаток авиационного патрулирования – высокая стоимость полетов. Использование БПЛА для обнаружения лесных пожаров и информационного обеспечения наземных команд пожаротушения рассматривается как одно из перспективных направлений [2]. Задымление легко определяется при помощи оптических видеокамер [17]. В условиях сильной задымленности, нередко применяют тепловые камеры, так как оптические приборы становятся практически бесполезными. С помощью инфракрасного изображения выявляются очаги горения леса [11].

4. Выявление участков незаконных рубок и другой противоправной деятельности. После облета территории происходит сравнение контуров нормативно утвержденной лесосеки и реальных контуров всех рубок леса. По результатам этой операции выявляются участки, где вырубка была незаконной [5, 8]. Важная черта аэрофотосъемки – определение точного пространственного положения и площади нарушенного участка. Эти характеристики дают основу для расчета нанесенного ущерба [14].

5. Оценка техногенного воздействия на лесные экосистемы. Источниками техногенного воздействия могут быть объекты нефтепромысла, разведки, добычи или переработки других полезных ископаемых, магистральные трубопроводы и ЛЭП, автомобильные и железные дороги, крупные животноводческие комплексы и т.п. Влияние таких объектов может выражаться в виде механического, физического, химического или биологического воздействия. Сами подобные объекты, как и существенные повреждения древостоя, которые они вызывают, надежно фиксируются по материалам аэрофотосъемки. Оценивается динамика состояния насаждений в пространстве и во времени, определяются фазы трансформации лесных экосистем, вычисляется экологический ущерб [1, 13, 16].

Материал и методика. В Пермском государственном национальном исследовательском университете (ПГНИУ) материалы, полученные при помощи БПЛА, также используются для изучения лесов. Для этих целей применяется беспилотный самолет российского производства (модель – Supercam S250-F), приобретенный в рамках проекта развития национального исследовательского университета. Аппаратура, установленная на борту, с помощью которой осуществляется процесс съемки и навигация (полезная нагрузка)

Бузмаков Сергей Алексеевич, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы. E-mail: ler@psu.ru

Санников Павел Юрьевич, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры биогеоценологии и охраны природы. E-mail: sol1430@gmail.com

Андреев Дмитрий Николаевич, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры биогеоценологии и охраны природы. E-mail: adn87@yandex.ru

включает профессиональную оптическую камеру (фото-съемка), курсовую камеру (видео-съемка) и инфракрасную (тепловизионную) камеру. На борту также установлен GNSS-приемник геодезического класса и радиомаяк для поиска самолета, в случае незапланированной посадки. Ключевые рабочие характеристики используемого беспилотного самолета показаны в табл. 1.

Таблица 1. Основные тактико-технические характеристики БПЛА Supercam S250-F

Характеристика	Значение
крейсерская скорость	70 км/ч
максимальная скорость	120 км/ч
рабочая высота полетов	300-1200 м
максимальная высота полетов	3600 м
максимальное время полета	около 3 ч
максимальная дальность 1 полета	около 200 км

Для подготовки взлета и посадки БПЛА необходимо не менее 2 человек: выпускающий и оператор. Функции выпускающего: сборка аппарата, проведение предполетных проверок, установка катапульты и подготовка взлетной полосы, выпуск БПЛА с катапульты, подача команд оператору при взлете и посадке. Оператор выбирает место взлета и посадки, формирует и загружает полетное задание. Оператор также управляет БПЛА с помощью наземной станции управления (НСУ). Стартовое ускорение самолет набирает через натяжение на эластичной катапульте. При помощи парашюта осуществляется посадка БПЛА. В случае незапланированной потери высоты (отказ двигателя, обледенение) срабатывает аварийный выброс парашюта.

Комплекс данных во время полета БПЛА (телеметрия) включает высоту, скорость, крен, тангаж, курс и обороты двигателя. Эти показатели измеряются специальными бортовыми устройствами: приемником воздушного давления (ПВД), альтиметром и системой автоматического управления. Данные бортового GNSS-приемника отображаются в виде маршрута на экране наземной станции управления. Перед полетом на самолет загружается маршрут следования (полетное задание). Во время полета оператор может менять заданный маршрут, высоту, скорость и многие другие характеристики. При экстренных, незапланированных ситуациях оператор подает команду немедленного возвращения самолета в точку старта, либо принудительный выпуск парашюта.

Для обеспечения радиосвязи между беспилотным летательным аппаратом и наземной станцией управления на земле устанавливается блок антенн. Качество радиосигнала не постоянно. Оно сильно варьирует в зависимости от погодных условий и того, в какой мере, относительно рельефа, находится НСУ и блок антенн. На практике максимальная дальность радиосвязи не превышает 100 км, однако чаще она составляет около 50 км. При полной потере связи система автоматического управления прекращает выполнение полетного задания, самолет следует к месту взлета. Если же радиосигнал так и не восстанавливается (например, в случае выхода из строя блока антенн), БПЛА выбрасывает парашют по достижении точки старта.

Используемая модель БРЛА выдерживает широкий диапазон погодных условий. Самолет способен летать при температурах – от -30 до +40°C. Таким

образом, в условиях Прикамья эксплуатация аппарата возможна в любое время года. Запуск запрещен лишь в экстремальных погодных условиях: при сильном ветре (более 10 м/с), проливном дожде, граде и грозе. После посадки, оператор и выпускающий осматривают самолет и все комплектующие на предмет повреждений. Для транспортировки комплекса БПЛА предусмотрен специальный мягкий чемодан. В камеральных условиях, самолет, катапульту и парашют просушивают, при необходимости ремонтируют.

Полученные фотографии, а также данные GNSS-приемника скачивают на компьютер с программным обеспечением, необходимым для обработки аэрофото-съемки. После этого начинается наиболее сложный (в методическом смысле) этап фотограмметрической обработки. Для обработки результатов съемки используются специальное программное обеспечение: Agisoft Photoscan [20] и Photomod UAS [22]. Первичная обработка снимков проводится при помощи Agisoft Photoscan. Краткая последовательность этапов фотограмметрической обработки в этой программе выглядит следующим образом. После создания рабочего проекта, добавления снимков, настройки системы координат и других необходимых параметров, происходит процедура определения положения и ориентации камеры для каждого кадра (выравнивание фотографий). Далее создается массив точек, которые по высоте и цвету соответствуют отснятой поверхности (разреженное облако точек). Для коррекции созданного разреженного облака (рис. 1А), вся совокупность точек подвергается статистической проверке, после чего ошибочно определенные точки удаляются. Основываясь на рассчитанных и статистически скорректированных положениях камер, происходит расчет карт глубин для каждого снимка. Далее осуществляется дополнение исходного разреженного облака точек. При этом плотность созданных точек значительно увеличивается. В результате, при достаточном отдалении полученное плотное облако (рис. 1Б) точек визуально неотличимо от растрового изображения поверхности земли.

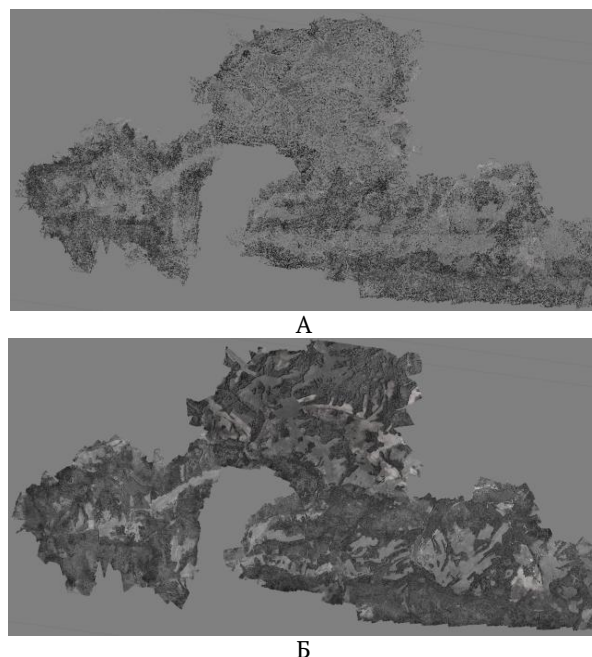


Рис. 1. Облако точек: А – разреженное облако; Б – плотное облако

Следующий шаг обработки – разделение всех созданных точек на классы (земля, деревья, здания, водные объекты и т.п.). Классификация точек по типам поверхности дает возможность приступить к созданию цифровых полигональных моделей: цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели местности (ЦММ). Для некоторых прикладных работ актуально вычисление высот объектов (деревьев, зданий, мостов). Такая задача решается путем вычитания данных высот ЦМР из ЦММ (рис. 2).

Далее пользователь имеет возможность экспорта первичного ортофотоплана. Работа в Agisoft Photoscan завершается импортом обработанных данных в формат программы Photomod UAS. Дальнейшая обработка изображений проводится, если необходима более точная коррекция снимков, требуется достижение геодезической точности получаемых продуктов. После добавления импортированных данных в проект программы Photomod UAS последовательность основных этапов выглядит следующим образом.



Рис. 2. Цифровая 3D-модель местности

Первичное преобразование и сжатие снимков; импорт данных внутреннего (углы поворота осей камеры, направление полета) и внешнего (координаты центров проекций снимков) ориентирования; создание

сети связующих и опорных точек, а также проверки координат на точность. На этом этапе пользователь имеет возможность включения в расчеты дополнительных координат реперных точек и других объектов с четко определяемыми контурами (опознаков), координаты которых были сняты заранее. Это позволяет существенно повысить точность итогового ортофотоплана. После этого производится уравнивание (правильное взаимное ориентирование) снимков относительно друг друга. Затем необходимо определить линии, по которым будет происходить разделение разных блоков снимков (линии порезов). При проведении линий порезов следует избегать высотных (мосты, здания) и протяженных объектов (кромка леса, реки, дороги).

Следующий шаг – выравнивание яркостей изображений. Если проигнорировать эту процедуру, то одни области плана будут очень темными, другие слишком светлыми. Для ортофотоплана в целом, используют глобальное (одинаково применяемое ко всем пикселям всех снимков) преобразование. Для областей вдоль линий порезов применяют локальное (сглаживание участков вдоль линий сшивки) выравнивание.

Следующий шаг состоит в определении количества отдельных листов (файлов) ортофотоплана. Размер конечного продукта часто слишком велик (более 4 ГБ), для его нормального отображения в среде Windows. Поэтому целесообразным становится разделение результирующего изображения на части. На заключительном этапе происходит настройка выходных параметров (размер пикселя, масштаб, формат) и экспорт ортофотоплана (рис. 3). Характеристики получаемых ортофотопланов: масштаб до 1:500; разрешение до 4 см/пикс; плановая точность до 20 см; точность цифровой модели местности по высоте до 16 см. Максимальная продолжительность полета – около 3 часов. Площадь съемки зависит от заранее заданных характеристик (высоты полета и ширины перекрытия снимков) и составляет от 1000 до 3000 га.



Рис. 3. Фрагмент ортофотоплана

Результаты и их обсуждение. В 2015 г. кафедрой биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ была организована аэрофотосъемка особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Предуралье». Заказник расположен в Кишерстком районе Пермского края, его общая площадь составляет 2168 га. Съемка проведена 24-25 июня 2015 г. на высотах 300-400 м. Всего было получено чуть менее 9 тыс. снимков, их общий объем

составил 72 ГБ. На основе материалов в съемки был создан ортофотоплан заказника. На сегодняшний день этот продукт является наиболее детальной растровой картографической основой из всех прочих существующих материалов (топографические карты, лесостроительство, космические снимки сверхвысокого разрешения). Используя ортофотоплан в качестве подложки, были уточнены границы ООПТ, а также контуры лесных

кварталов, просек. Разница между исходными границами и реальным расположением соответствующих объектов в среднем составляла 30-50 м, в отдельных случаях она достигала 90 м. Актуальной для ООПТ задачей считается выявление участков поврежденного

древостоя. Своевременная удаление сухостойных деревьев, расчистка завалов после ветровалов – одна из основных мер по предотвращению пожаров. Визуальный анализ ортофотоплана позволил выявить сухостойные деревья. Результаты анализа показаны в табл. 2.

Таблица 2. Распределение сухостоя по элементам рельефа (заказник «Предуралье»)

Характеристика	Площадь, га / Доля площади, %	Число сухостоя, шт. / Доля от общего числа, %
выположенная поверхность надпойменной террасы	1164 / 53,7	1809 / 52,9
коренной склон	926,2 / 42,7	1580 / 46,2
пойма	78,6 / 3,6	31 / 0,9
ВСЕГО	2168,8 / 100	3420 / 100

Выводы: изучение лесов, выполняемое с помощью БПЛА – перспективное направление исследований. Данные, полученные в результате аэрофотосъемки, имеют ряд преимуществ над изображениями Земли из космоса. Снимки, сделанные с БПЛА, обладают существенно более высоким пространственным разрешением, точностью привязки. Аэрофотосъемка в гораздо меньшей степени зависит от облачности. При работе с беспилотным аппаратом значительно повышается оперативность и возможная периодичность съемки. В случае с БПЛА стоимость, как самого аппарата, так и продуктов его съемки ниже, чем в случае с космическим спутником. Основные сложности связаны с дополнительной фотограмметрической обработкой данных, надежностью БПЛА, ошибками оператора в управлении аппаратом, неподходящими погодными условиями, а также пробелами в российском и международном законодательстве. Применение беспилотной аэрофотосъемки и её обработки для заказника «Предуралье» позволило получить высокоточную картографическую основу, существенно уточнить границы ООПТ и лесных кварталов, выявить участки поврежденного древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Arnold, T. UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring / T. Arnold, M. De Biasio, A. Fritz, R. Leitner // 7-th International Conference on Sensing Technology. 2013. P. 704-707.
2. Benavente, D. Semi-expendable Unmanned Aerial Vehicle for forest fire suppression // International Conference on Modeling, Monitoring and Management of Forest Fires. Forest Fires. 2010. Vol. 137. P. 143-148.
3. Dong, B. Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying / B. Dong, Z.-K. Feng, S. Yao et al. // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30. P. 173-177.
4. Dunford, R. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest / R. Dunford, K. Michel, M. Gagnage et al. // International Journal of Remote Sensing. 2009. Vol. 30 (19). P. 4915-4935.
5. Getzin, S. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests / S. Getzin, R.S. Nuske, K. Wiegand // Remote Sensing. 2014. Vol. 6. P. 6988-7004.
6. Getzin, S. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles / S. Getzin, K. Wiegand, I. Schoning // Methods in Ecology and Evolution. 2012. Vol. 3. P. 397-404.
7. Gini, R. Use of unmanned aerial systems for multispectral survey and tree classification: A test in a park area of northern Italy / R. Gini, D. Passoni, L. Pinto, G. Sona // European Journal of Remote Sensing. 2014. Vol. 47 (1). P. 251-269.
8. Launchbury, R. Unmanned aerial vehicles in forestry (Short Survey) // Forestry Chronicle. 2014. Vol. 90 (4). P. 418-419.
9. Lehmann, J.R.K. Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry-a new perspective to monitor pest infestation levels / J.R.K. Lehmann, F. Nieberding, T. Prinz, C. Knoth // Forests. 2015. Vol. 6 (3). P. 594-612.
10. Lisein, J. A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery / J. Lisein, M. Pierrot-Deseilligny, S. Bonnet, P. Lejeune // Forests. 2013. Vol. 4 (4). P. 922-944.
11. Merino, L. Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement using Unmanned Aerial Vehicles / L. Merino, F. Caballero, J.R. Martínez-de-Dios et al. // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2012. Vol. 65 (1-4). P. 533-548.
12. Paneque-Gálvez, J. Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas / J. Paneque-Gálvez, M.K. McCall, B.M. Napoletano et al. // Forests. 2014. Vol. 5 (6). P. 1481-1507.
13. Pierzchała, M. Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: Application of an unmanned aircraft for 3D modeling / M. Pierzchała, B. Talbot, R. Astrup // Forests. 2014. Vol. 5 (6). P. 1212-1223.
14. Salami, E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas / E. Salami, C. Barrado, E. Pastor // Remote Sensing. 2014. Vol. 6 (11). P. 11051-11081.
15. Schreyer, J. Remote sensing-based approaches for modeling 3D vegetation information in urban areas / J. Schreyer, T. Lakes // 14-th International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA. 2014. P. 116-120.
16. Themistocleous, K. Use of remote sensing and UAV for the management of degraded ecosystems: The case study of overgrazing in Randi Forest, Cyprus / K. Themistocleous, G. Papadavid, M. Christoforou et al. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering / 2-nd International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. 2014. Vol. 9. P. 229.
17. Von Wahl, N. An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors / N. Von Wahl, S. Heinen, H. Essen et al. // International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires. Forest Fires. 2010. Vol. 137. P. 97-106.
18. Лесная фитопатология / под ред. Б.П. Чуракова. – СПб.: изд-во «Лань», 2012. 448 с.
19. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В.К. Кузюзова. – М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
20. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 1.1. [Электронный ресурс]. URL: www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_ru.pdf (дата обращения – 15.04.2015)
21. Фундаментальная фитопатология / под ред. Ю.Т. Дьякова. – М.: КРАСАНД, 2012. 512 с.
22. Цифровая фотограмметрическая система Photomod: версия 6.0. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. URL: http://www2.racurs.ru/download/Racurs_brochures/PHOTOMOD.pdf (дата обращения – 15.04.2015)

PREPARATION AND APPLYING THE AERIAL PHOTOGRAPHY FOR THE FOREST STUDYING

© 2016 S.A. Buzmakov, P.Y. Sannikov, D.N. Andreev

Perm State National Research University

The forest study – is one of the important applications of aerial photography, made of unmanned aerial vehicles. The article provides a brief literature review of world experience in the applying of unmanned aircraft to explore the forest. The technical features of unmanned aircraft used in Perm State University were done. The main stages of image processing were described. The brief results of processing aerial photography (on the example of protected area “Preduralye” were shown.

Key words: *unmanned aerial vehicle, photogrammetry, deadwood, sustainable forestry*

*Sergey Buzmakov, Doctor of Geography, Professor, Head
of the Biogeocenology and Nature Protection Department.
E-mail: lep@psu.ru*

*Pavel Sannikov, Candidate of Geography, Senior Lecturer
at the Biogeocenology and Nature Protection Department.
E-mail: sol1430@gmail.com*

*Dmitriy Andreev, Candidate of Geography, Senior Lecturer
at the Biogeocenology and Nature Protection Department.
E-mail: adn87@yandex.ru*